

PREDIKSI PERUBAHAN BENTUK DASAR SUNGAI DI BELOKAN

(studi kasus : sungai Indragiri di daerah Air Molek)

Bambang Sujatmoko

ABSTRAKSI

Proses kelongsoran tebing yang terjadi di sungai Indragiri (di daerah Air Molek) terjadi akibat adanya proses gerusan yang terus menerus di dasar tebing sebagai reaksi perubahan dasar terhadap kondisi pola aliran di belokan. Perubahan bentuk dasar sungai sebagai reaksi terhadap kondisi pola aliran di belokan dapat diprediksi atau diperkirakan dengan menggunakan alat bantu model matematik.

Simulasi pola arus dilakukan dengan software BOSS SMS modul RMA2 dan simulasi angkutan dasar menggunakan SED2D. Kedua modul ini merupakan model matematik dua dimensi horizontal (*depth average*). Untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat, RMS (root-mean-square) dari hasil pengukuran dengan hasil numeris digunakan sebagai indikasi parameter dalam proses kalibrasi dan verifikasi.

Penelitian menunjukkan bahwa, secara kualitatif hasil yang diperoleh sesuai dengan keadaan di lapangan, di mana terjadi erosi yang cukup besar di daerah luar belokan (sekitar $-0,393$ m selama 30 hari), sedangkan erosi di sisi dalam belokan yang merupakan daerah menyempit dan tonjolan jauh lebih besar ($-1,13$ m selama 30 hari). Hanya saja kecepatan erosi dasar sungai persatuan waktu tidak bisa diprediksi karena kesulitan mendapatkan data perubahan dasar sungai Indragiri dari waktu ke waktu. Model matematik yang digunakan untuk prediksi perubahan bentuk dasar memiliki kemampuan yang cukup memadai dimana hasil kalibrasi parameter aliran dalam model numerik RMA2 dengan data parameter aliran di lapangan memiliki nilai RMS terhadap kecepatan rata-rata tampang sekitar 6,5%.

Kata kunci : pola aliran, perubahan dasar, model matematik, belokan.

1. PENDAHULUAN

Sungai Indragiri sebagai salah satu sungai dari empat sungai besar di Propinsi Riau merupakan sungai yang banyak memiliki *meander* (berbelok-belok). Kondisi morfologi sungai yang demikian cenderung mengakibatkan aliran air yang terjadi mengarah ke daerah tertentu di sisi luar belokan. Pada kondisi ini, aliran air akan berusaha bergerak keluar, sehingga kecepatan air di sisi luar belokan akan lebih besar dibanding di sisi dalam belokan. Akibatnya, pada sungai yang memiliki tebing dengan kondisi tanah yang tidak stabil akan cenderung terjadi kelongsoran pada tebing di bagian luar belokan sungai. Proses kelongsoran tebing ini terjadi akibat adanya proses gerusan yang terus menerus di dasar tebing sebagai reaksi perubahan dasar terhadap kondisi pola aliran di belokan.

Perubahan bentuk dasar sungai sebagai reaksi terhadap kondisi pola aliran di belokan tersebut dapat diprediksi atau diperkirakan dengan menggunakan alat bantu model matematik (Suroso, 1999). Simulasi yang dilakukan pada pias sungai dapat memberikan gambaran perubahan bentuk dasar di sepanjang sungai yang ditinjau selama kurun waktu tertentu,

sehingga dapat diketahui daerah-daerah kritis (daerah yang mengalami gerusan terbesar) dan dapat segera dilakukan penanganan dan antisipasi agar tidak sampai terjadi keadaan yang lebih mengkhawatirkan.

Rumusan masalah di atas dapat diprediksi atau diperkirakan menggunakan model matematik perubahan bentuk dasar 2 dimensi (2-D) horizontal rerata kedalaman (*depth average*) dengan program dari produk BOSS SMS yaitu RMA2 dan SED2D *software*.

Aplikasi model numeris 2DH pada prediksi perubahan bentuk dasar sungai menggunakan dua perangkat lunak yang bekerja berkesinambungan. Langkah pertama penelitian adalah mensimulasi perubahan pola arus di sungai menggunakan perangkat lunak dari produk *BOSS SMS* yaitu RMA2 *software*. Setelah hasil simulasi RMA2 dianggap memadai (telah terkalibrasi), kemudian disimulasi perubahan bentuk dasar sungai dengan perangkat lunak SED2D *software*.

2. MODEL MATEMATIS ALIRAN DUA DIMENSI

Salah satu modul perangkat lunak BOSS SMS (*Surface water Modeling System*) yaitu RMA2 versi 4.35, merupakan model numeris untuk menghitung proses hidrodinamika aliran dua dimensi pada rerata kedalaman (*depth average*). Perangkat lunak SMS merupakan *post* dan *pre-processing unit*, sedangkan RMA2 merupakan *running execution program* (Boss SMS, 1995).

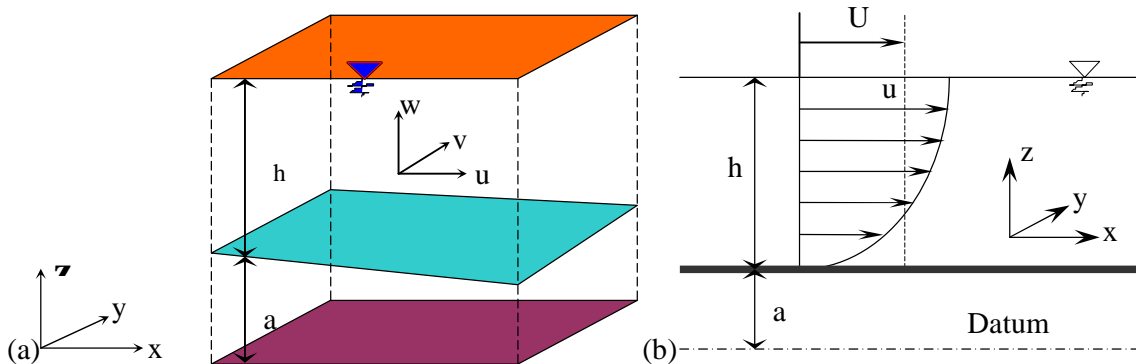
Model numeris RMA2. Persamaan yang menggambarkan aliran di sungai, estuari dan badan air yang lain didasarkan pada konsep klasik konservasi massa dan momentum. Persamaan aliran 2-D horizontal (*depth averaged*) diturunkan dengan mengintegrasikan persamaan tiga dimensi transport massa dan momentum terhadap koordinat vertikal dari dasar sampai ke permukaan air, dengan asumsi bahwa kecepatan dan percepatan vertikal diabaikan. Persamaan kontinuitas dan momentum arah sumbu x dan y untuk aliran dua dimensi rata-rata kedalaman dapat dituliskan sebagai berikut (Boss SMS, 1995):

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{\left(1.486 h^{1/6} \right)^2} \left(u^2 + v^2 \right)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (1)$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{\left(1.486 h^{1/6} \right)^2} \left(u^2 + v^2 \right)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi + 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

dengan : (Sistem koordinat dan variabel yang dipakai lihat Gambar 1.) h adalah kedalaman; u, v adalah kecepatan pada arah sumbu x dan y ; x, y, t adalah koordinat *cartesian* dan waktu; ρ adalah rapat massa zat cair; g = percepatan gravitasi; E = koefisien *Eddy Viscositas*, untuk xx adalah arah normal pada sumbu x , untuk yy adalah arah normal pada sumbu y , untuk xy dan yx adalah arah *shear* pada tiap-tiap permukaan; a = elevasi dasar; n = nilai kekasaran *Manning*; ζ = koefisien gesekan angin; V_a , ψ = kecepatan angin dan arah angin; ω , ϕ = tingkat rotasi angular bumi, dan *latitude* lokal.



Gambar 1. Sistem koordinat dan variabel yang dipakai (a) dan kecepatan rata-rata kedalaman pada arah sumbu x (b).

Diskritisasi Model. RMA2 *software* menggunakan metode elemen hingga Galerkin dalam menyelesaikan sistem pembentuk persamaan differensial, yang diawali dengan prosedur diskretisasi, yaitu membagi daerah penyelesaian (domain komputasi) menjadi sejumlah sub-sub domain yang lebih kecil, yang dinamakan elemen. Pada penelitian ini, diskretisasi model menggunakan elemen gabungan segitiga 6 simpul (*six-node triangles*) dan segiempat 8 simpul (*eight-node quadrilateral*). Penyiapan data input kondisi batas (*boundary condition*), input parameter aliran dan sedimen, serta diskretisasi domain model dilakukan secara interaktif menggunakan fasilitas yang telah disediakan di *Software BOSS SMS*.

3. MODEL MATEMATIS PERUBAHAN DASAR SUNGAI

Formulasi matematis dari proses perubahan dasar sungai akan melibatkan persamaan aliran, persamaan angkutan sedimen dan persamaan konservasi massa dasar sungai. Pada penelitian ini lingkup pembahasan dibatasi untuk aliran dua dimensi horisontal, angkutan sedimen pada dasar saja dan material berupa butiran lepas (tak kohesif).

Model Numeris SED2D. SED2D *software* menganalisis dua kategori sedimen yaitu, sedimen non kohesif (pasir) dan sedimen kohesif (tanah liat). Model numeris ini hanya menelaah satu ukuran butir efektif (*effective grain size*) dari tiap-tiap *running*-nya, sehingga diperlukan suatu *model run* sendiri-sendiri untuk tiap-tiap ukuran butir efektif. Model numeris SED2D rumusan dasarnya dibuat oleh Ariathurai (1974), dan Ariathurai, Mc Arthur dan Krone (1977), dalam Boss SMS (1995). Untuk menghitung konsentrasi sedimen yang tersuspensi

menggunakan persamaan *konveksi-difusi* yang dilengkapi dengan sebuah *bed source term*, dapat dilihat pada persamaan berikut (Boss SMS, 1995) :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \alpha_1 C + \alpha_2 \quad (4)$$

dengan : C = konsentrasi; T = waktu; U, V = kecepatan aliran arah x , dan y ; x, y = aliran arah primer, dan arah aliran tegak lurus terhadap x ; D_x, D_y = koefisien difusi efektif arah x , dan y ; α_1, α_2 = koefisien dan porsi konsentrasi seimbang untuk *source term*;

Bentuk dari *bed source term* adalah $S = \alpha_1 C + \alpha_2$, digunakan untuk analisis deposisi dan erosi di dasar dan metode penghitungan koefisien alfa tergantung pada tipe materialnya. Transportasi sedimen di dasar dikontrol oleh potensi transport aliran dan ketersediaan material di dasarnya, sehingga bentuk persamaan *bed source term*-nya menjadi :

$$S = \frac{C_{eq} - C}{t_c} \quad (5)$$

dengan : S = *source term*; C_{eq} = konsentrasi ekuilibrium (potensi transport); C = konsentrasi sedimen di dalam kolom air; t_c = waktu karakteristik untuk mempengaruhi transisinya.

Untuk menghitung potensi transpor (C_{eq}) material sedimen seukuran pasir, dipakai rumusan Ackers dan White (1970), dalam Boss SMS (1995). Sedangkan penentuan waktu karakteristik (t_c), sifatnya agak subyektif. Karena t_c merupakan waktu yang diperlukan oleh konsentrasi di dalam medan aliran untuk mengubah dari C ke C_{eq} . Dalam kasus deposisi waktu karakteristik dihubungkan dengan kecepatan jatuh, dan digunakan persamaan berikut :

$$t_c = C_d \frac{H}{v_s}, \text{ atau } t_c = \Delta \quad (6)$$

dengan: C_d = koefisien deposisi dan H = kedalaman air; v_s = kecepatan jatuh partikel sedimen; Δ_t = interval waktu penghitungan.

Sedangkan untuk kasus *scour*, tidak ada parameter sederhana yang bisa pakai, sehingga digunakan rumusan di bawah ini :

$$t_c = C_e \frac{H}{\bar{U}}, \text{ atau } t_c = \Delta_t \quad (7)$$

dengan: C_e = koefisien untuk *entrainment*, dan \bar{U} = kecepatan rerata air.

Potensi transport menurut Ackers dan White (1970), dalam Boss SMS (1995), dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$C_{eq} = \frac{\gamma_s D_{35} C_2 \left(\frac{F_{gr}}{C_3} - 1 \right)^{C_4}}{H \left(\frac{U^*}{\bar{U}} \right)^{C_1}} \quad (8)$$

$$F_{gr} = \left(\frac{(U^*)^{C_1}}{\sqrt{(s-1)gD_{35}}} \right) \left(\frac{\bar{U}}{\sqrt{32 \log \left(\frac{\alpha H}{D_{35}} \right)}} \right)^{1-C_1}, \text{ dimana } \alpha = 10 \quad (9)$$

$$D_{gr} = \left(\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right)^{1/3} D_{35} \quad (10)$$

dengan : C_t = tingkat angkutan sedimen dan γ_s = berat jenis sedimen; D_{35} = diameter butir efektif sedimen; $c_1 = c_2$, c_3 dan c_4 = parameter dari *Ackers* dan *White*; F_{gr} = angka mobilitas dan s = rapat massa relatif; D_{gr} = besaran tak berdimensi diameter butir sedimen.

Program SED2D ini, digunakan untuk pemecahan masalah transpor sedimen yang didiskripsikan sebagai transpor *unsteady* dan tersuspensi, dalam dua dimensi horisontal yang ada interaksi dengan *bed*-nya. Program ini tidak menghitung elevasi-elevasi permukaan air dan medan aliran, karena data ini harus disediakan melalui penghitungan eksternal yaitu data hasil hitungan hidrodinamik dari *file.solusi* RMA2.

4. METODE PENELITIAN

4.1. Bahan Penelitian

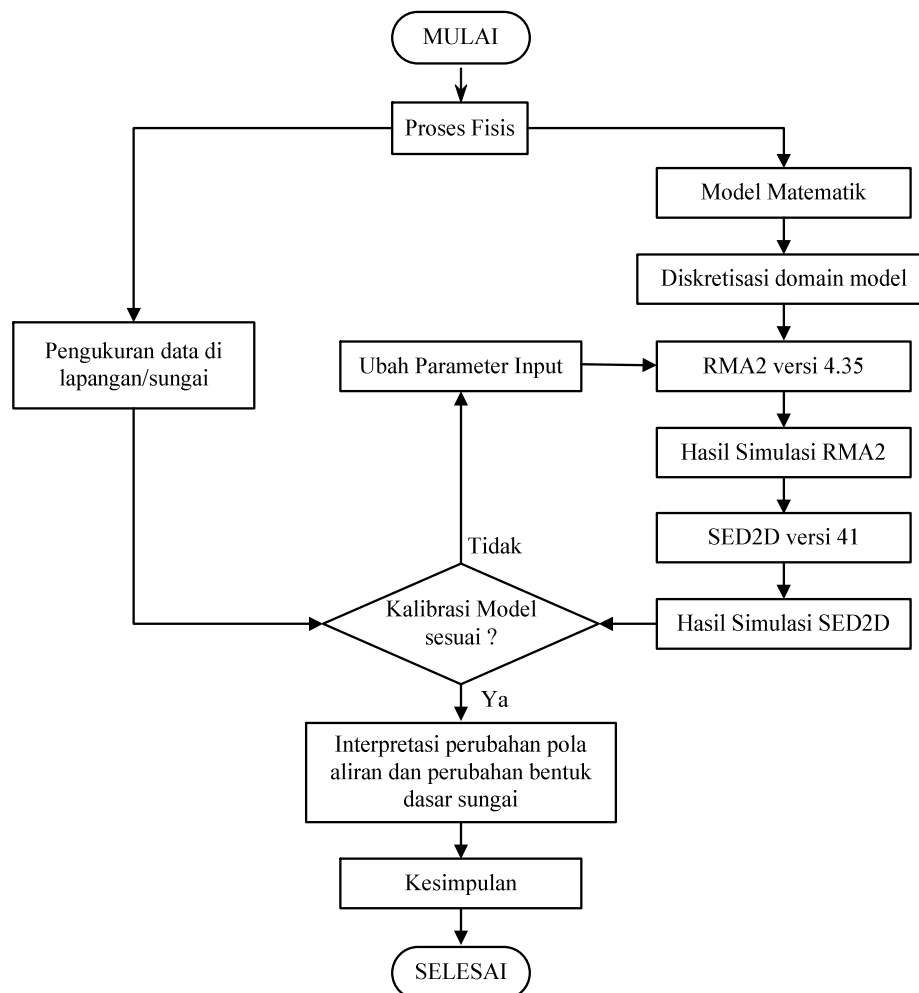
Untuk membuat diskretisasi model sungai diperlukan data pengukuran lapangan berupa data kontur topografi sungai dan sekitarnya, dalam bentuk file (*.dxf) ataupun dalam bentuk *hard copy*. Untuk penetapan kondisi batas simulasi, diperlukan data-data : data parameter aliran (debit, elevasi muka air, eddy viskositas, kekasaran dasar Manning) dan data-data sedimen (ukuran butir, berat jenis butir, konsentrasi sedimen, kepadatan lapisan sedimen). Kalibrasi model pola arus menggunakan data pengukuran kecepatan arus di lapangan yang diukur menggunakan alat pengukur kecepatan arus (*current meter*).

4.2. Alat yang digunakan

Untuk mengaplikasikan model matematik 2-D horizontal rerata kedalamannya digunakan peralatan berupa seperangkat komputer beserta *software* pendukung. *Software* yang digunakan merupakan produk BOSS International yang dikenal dengan nama *Surface water Modeling System (SMS)*. Penelitian ini ditujukan pada perubahan dasar sungai (*mobile bed*) sehingga diperlukan 2 macam program yakni untuk simulasi hidrodinamika aliran digunakan RMA2 versi 4.35 dan untuk angkutan sedimen (*mobile bed*) digunakan SED2D versi 4.1.

4.3. Langkah / Tahapan Penelitian

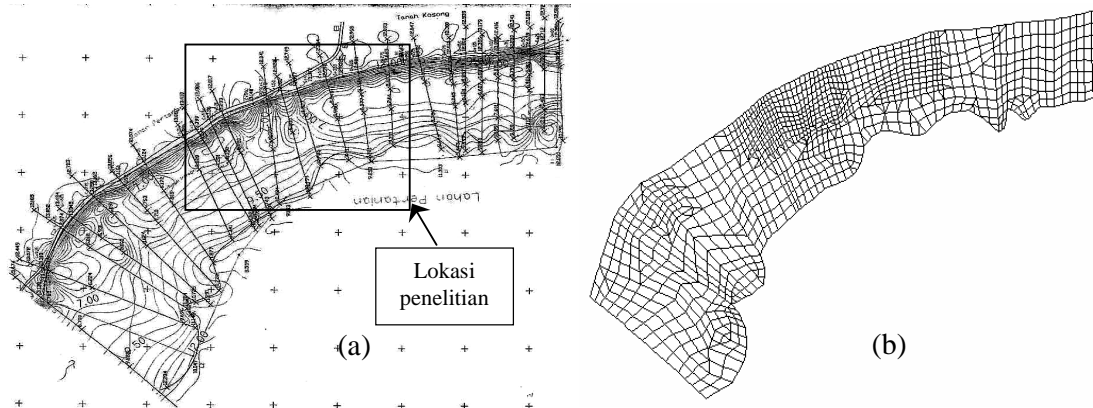
Proses pemodelan secara fisik dan matematis, didahului dengan suatu proses fisis. Dari proses fisis tersebut dilakukan pendekatan dengan suatu formula matematis, yang selanjutnya dibuat diskritisasi domain model. Dengan siapnya diskritisasi domain model, maka data input kondisi batas, parameter aliran, karakteristik sedimen dan parameter numeris dapat dimasukan, proses ini sering disebut dengan *pre processing unit*. Selanjutnya program komputasi RMA2 dapat disimulasikan, dan hasil dari simulasi tersebut sebagai data input hidrodinamik pada program SED2D. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur penelitian

Simulasi Model Matematis Hidrodinamika RMA2. File data input yang disusun terdiri dari data geometri dan data kondisi batas. Struktur file geometri dan file kondisi batas disusun dengan sistem *card*, di mana isi dari tiap *card* harus dimasukkan melalui cara grafis atau diedit melalui program pengolah kata oleh pemodel.

Diskretisasi Domain Model. Batas daerah studi (domain model) adalah penggal /pias sungai Indragiri yang berada di daerah Air Molek Kec. Pasir Penyu Kab. Indragiri Hulu (di sekitar desa Lembah Gading). Gambar digitasi daerah studi model fisik (di lapangan) dan penyusunan jaring elemen hingga (diskretisasi) domain model dapat dilihat pada Gambar 3. Proses diskretisasi dalam penelitian ini menggunakan bentuk elemen gabungan elemen segitiga dan segiempat kuadratik.



Gambar 3. Daerah studi model fisik (a) diskretisasi model numeris (b)
(Sumber : PT. Barunadri Eng. Cons.)

Model Matematis Angkutan Sedimen SED2D. Untuk dapat mensimulasi program SED2D, diperlukan input berupa data hidrodinamika aliran hasil eksekusi program RMA2 yang merupakan file data berbentuk *biner* (*file.sol*). Selain itu diperlukan juga data geometri sungai berbentuk file *binner* (*file.bin*). Data input yang berupa data-data parameter sedimen disimpan dalam *file.sed*. Data parameter sedimen yang dimasukkan ke dalam file ini di antaranya : koefisien difusi sedimen (faktor penyebaran sedimen yang dipengaruhi oleh aliran), kecepatan endap sedimen (*settling velocity*) dan juga parameter butiran sedimen yaitu: ukuran butiran (*sand grain size*), berat jenis butiran (*specific gravity*), faktor ukuran butir, kekasaran pembentuk dasar sungai (ketebalan kekasaran – *sand grain roughness*). Parameter lain yang penting adalah faktor karakteristik panjang pengendapan, faktor karakteristik panjang erosi dan ketebalan awal lapisan sedimen.

Kalibrasi Model. Agar hasil simulasi RMA2 dan SED2D mendekati hasil pengukuran di fisik, maka diperlukan suatu proses kalibrasi terhadap parameter aliran maupun karakteristik sedimennya. Kalibrasi model adalah suatu upaya menentukan parameter-parameter yang cocok digunakan pada model numeris, sehingga hasil keluaran model numeris mendekati fenomena hasil simulasi model fisik. Proses ini dilakukan berulang-ulang (*trial and error*), sampai diperoleh kesesuaian antara hasil simulasi kedua model. Dalam penelitian ini, kalibrasi model yang dilakukan adalah hanya pada parameter hidrodinamika aliran yaitu kecepatan di ruas sungai dan dilakukan dengan cara kuantitatif saja karena kesulitan dalam memperoleh data. Untuk mendapatkan suatu hasil simulasi yang mendekati model fisik, diperlukan suatu perubahan-perubahan dalam input parameter *Eddy viscosity* (E) dan kekasaran dasar (n) dimana kedua parameter ini akan saling mempengaruhi dalam hasil suatu simulasi.

5. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Data Masukan pada Model

Pada penelitian ini, data masukan pada model dibedakan atas 2 bagian yaitu data geometrik (jaringan yang berisi informasi elevasi dasar, koordinat dan batas sungai) dan kondisi batas (yang berisi kondisi batas dan parameter-parameter aliran dan sedimen). Data

masukan berupa kondisi batas dan parameter aliran dan sedimen pada model numeris dibedakan menjadi 2 yaitu data masukan untuk model numeris RMA2 dan data masukan untuk model numeris SED2D. Data masukan untuk RMA2 dimasukkan dalam data *material dasar* setelah melalui proses kalibrasi dan acuan Ven Te Chow (1959) ditabulasi dalam Tabel 1 dan data masukan untuk SED2D dimasukkan dalam data parameter sedimen (Tabel 2). Beberapa data parameter sedimen yang dimasukkan seperti *specific gravity* dan *sand grain roughness* diperoleh dari Lab. Mekanika Tanah FT UNRI dan PT. Barrunadri Eng. Cons.

Tabel 1. Material Dasar untuk simulasi RMA2

No.	Parameter	Material 1 ^{*)}	Material 2 ^{*)}
1.	<i>n Manning</i>	0,035	0,025
2.	<i>E (m²/det)</i>	2000	1000

sumber : hasil hitungan

Tabel 2. Nilai Parameter Sedimen

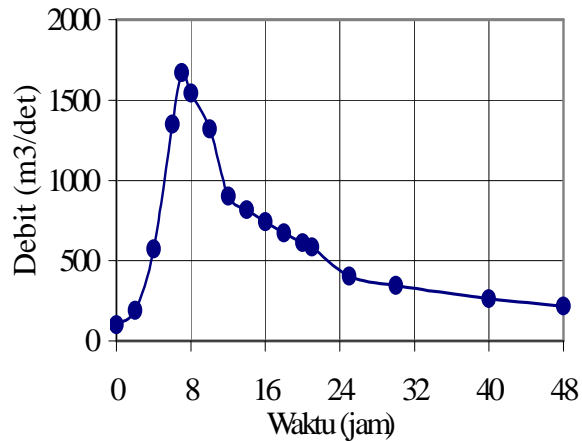
No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Koef. Diffusi	m ² /det	50,0
2.	kecepatan endap	m/det	1,0 x 10 ⁻⁸
3.	Berat jenis sedimen	kg/m ³	2640
4.	faktor bentuk butiran	--	0,67
5.	ukuran butir rata-rata	mm	2,4
6.	Ketebalan lap. Sedimen	m	1,0
7.	Faktor panjang deposisi	--	1
8.	Faktor panjang deposisi	--	100
9.	Rapat massa air	kg/m ³	1000

sumber : hasil hitungan

5.2. Kondisi Batas (*boundary condition*)

Kondisi batas terbuka ditetapkan sebagai kondisi batas hulu dan kondisi batas hilir. Kondisi batas hulu model numeris ditetapkan berupa debit aliran. Debit aliran yang diaplikasikan ke dalam model merupakan hidrograph debit sintetis dengan *return periode* 2 tahunan (Q-2th). Hidrograph debit ini (lihat pada Gambar 4). merupakan debit sintetis menggunakan formula Nakayasu, di mana debit sintetis yang dihasilkan merupakan hasil transformasi data-data hujan dan parameter DAS Indragiri. Hal ini dilakukan karena sulitnya

mendapatkan data pengukuran lapangan (hasil rekaman *Automatic Water Level Recorded – AWLR*) pada stasiun hidrometri sepanjang sungai Indragiri.

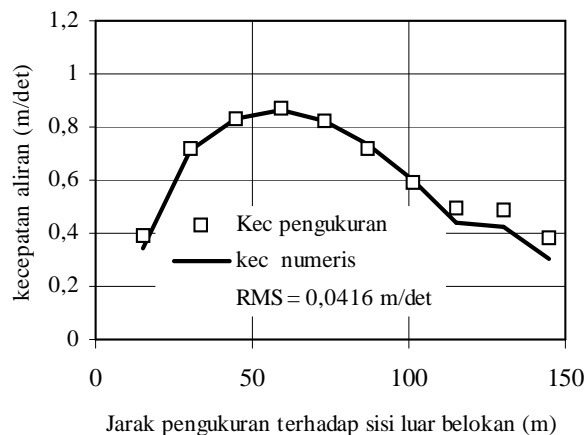


Gambar 4. Hidrograf sintetis debit 2 tahunan sungai Indragiri

5.3. Kalibrasi Model Numeris (Parameter Aliran, RMA2)

Kalibrasi secara kuantitatif terhadap parameter aliran masukan yang digunakan dalam perangkat lunak BOSS menggunakan suatu ukuran tertentu untuk membandingkan hasil simulasi model fisik dan hasil simulasi model numeris. Dalam penelitian ini ditentukan suatu ukuran yang dinamakan RMS (*root mean square*).

Nilai n dan E yang diaplikasikan pada model akan memberikan pengaruh terhadap nilai-nilai kecepatan yang terjadi pada model matematik. Nilai-nilai ini kemudian dibandingkan dan dianalisa terhadap nilai-nilai kecepatan yang terjadi di model fisik (di lapangan). Data kecepatan di lapangan yang dipakai untuk kalibrasi merupakan data pengukuran pada tanggal 29 September 2002 jam 9.45 WIB (Sumber : PT. Barunadri Eng. Cons.) Nilai terkecil dari perbandingan antara nilai RMS dengan rerata kecepatan dari distribusi kecepatan arah horizontal di suatu tampang, dipakai sebagai ukuran kecocokan antara hasil simulasi kedua model. Simpangan (*error*) nilai kecepatan antara keduanya pada suatu tampang tinjau, ditunjukkan oleh nilai RMS-nya seperti pada Gambar 5.



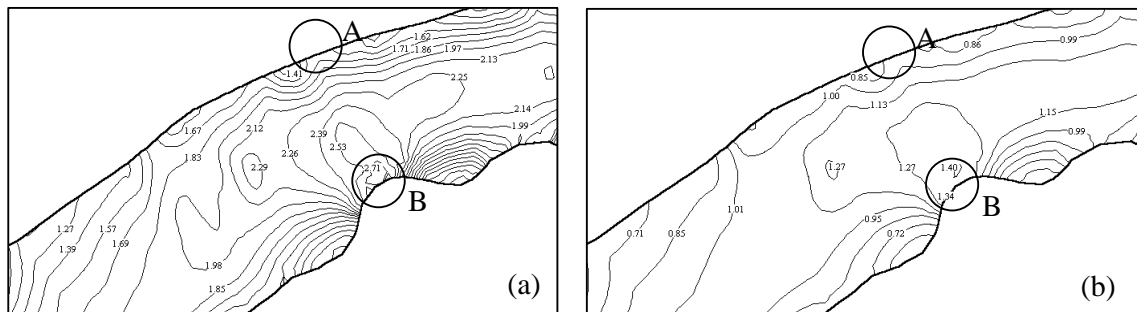
Gambar 5. Kalibrasi kecepatan model numeris dan data pengukuran (nilai RMS = 0,0416 m/det)

Dari Gambar 5 dapat dilihat data kecepatan hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi model RMA2. Nilai RMS yang diperoleh sebesar 0,0416 m/det atau sekitar 6,57% bila dibandingkan dengan kecepatan rata-rata tampang (V rata-rata = 0,64 m/det). Dari hasil kalibrasi secara kuantitatif yang dilakukan di atas, dapat dikatakan bahwa hasil simulasi model matematik RMA2 memiliki kemiripan atau kesesuaian yang memadai, dengan penyimpangan (*error*) sekitar 6,5%.

5.4. Kecepatan dan Pola Arus

Hasil simulasi model numeris RMA2 dapat berupa data kecepatan yang diinformasikan melalui titik (node-node) pada jaringan elemen hingga/*mesh*. Informasi kecepatan dapat berupa kontur kecepatan dan/atau vektor kecepatan. Pada penelitian ini, hanya ditampilkan kontur kecepatan yang memberikan gambaran pola arus secara kuantitatif dan juga penelusuran medan kecepatan maksimum yang terjadi di sepanjang penampang memanjang serta profil kecepatan sepanjang tampang melintang daerah studi.

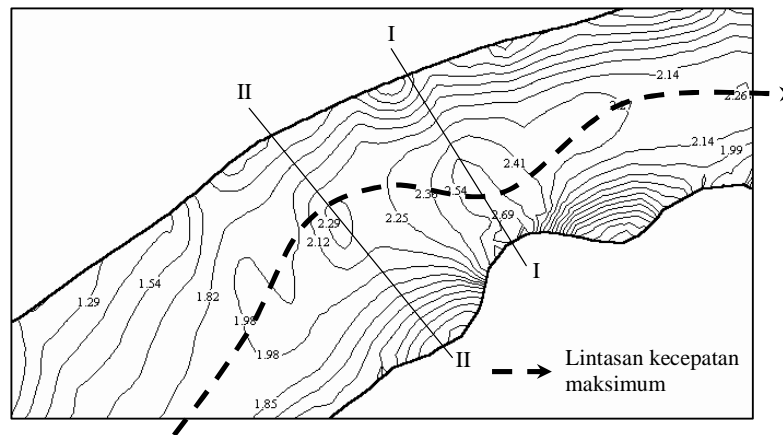
Kontur kecepatan pada saat debit puncak dan debit kecil menunjukkan pola yang hampir sama, hanya berbeda pada besaran kecepatannya saja. Perubahan kecepatan dari waktu ke waktu sangat dipengaruhi oleh grafik hidrograf debit yang masuk ke alur sungai dan juga dimensi tampang sungai yang dilalui badan air. Pada daerah yang menyempit, terjadi kecepatan yang paling cepat (besar) dengan distribusi kecepatan condong ke arah tepi belokan. Dapat dilihat bahwa kecepatan paling besar terjadi di daerah A dan B (Gambar 6) yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan tegangan geser dasar di daerah itu. Perubahan tegangan geser ini akan berpengaruh terhadap angkutan sedimen dan perubahan dasar sungai.



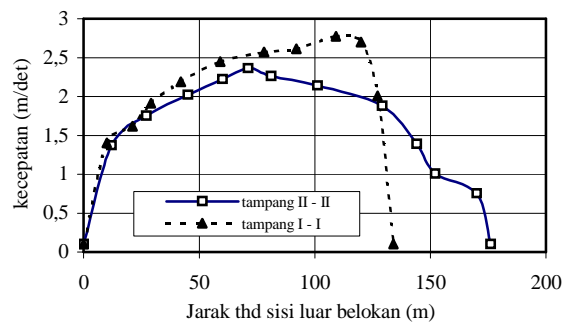
Gambar 6. Kontur dan pola aliran pada (a) debit puncak, (b) debit kecil

Lintasan kecepatan maksimum yang diperlihatkan pada Gambar 7 menjelaskan bahwa pada saat aliran memasuki awal belokan, maka kecepatan maksimum akan bergerak ke sisi luar belokan sehingga distribusi kecepatan yang tadinya seimbang (distribusi normal) menjadi condong sisi luar belokan (penampang II – II pada Gambar 6). Kemudian memasuki daerah penyempitan (penampang I – I), kecepatan maksimum membelok ke arah sisi dalam belokan menjelang akhir belokan. Hal ini dapat terjadi karena adanya perubahan lebar sungai dari besar ke kecil pada belokan sehingga pengecilan tampang yang menyerupai tonjolan tersebut mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan krib dimana kecepatan terbesar berada pada daerah sekitar ujung tonjolan. Perilaku kecepatan sekitar tonjolan juga mirip dengan pola arus di sekitar krib, dimana pada daerah pangkal tonjolan (sebelah hulu dan hilir pangkal) kecepatan yang terjadi cukup kecil. Distribusi kecepatan pada tamp II – II dan I – I dapat

dilihat pada Gambar 8, dimana distribusi kecepatan di tampang II – II memiliki nilai *skewness* positif dan distribusi kecepatan di tampang I – I memiliki nilai *skewness* negatif.



Gambar 7. Lintasan kecepatan maks dan lokasi tampang distribusi kecepatan

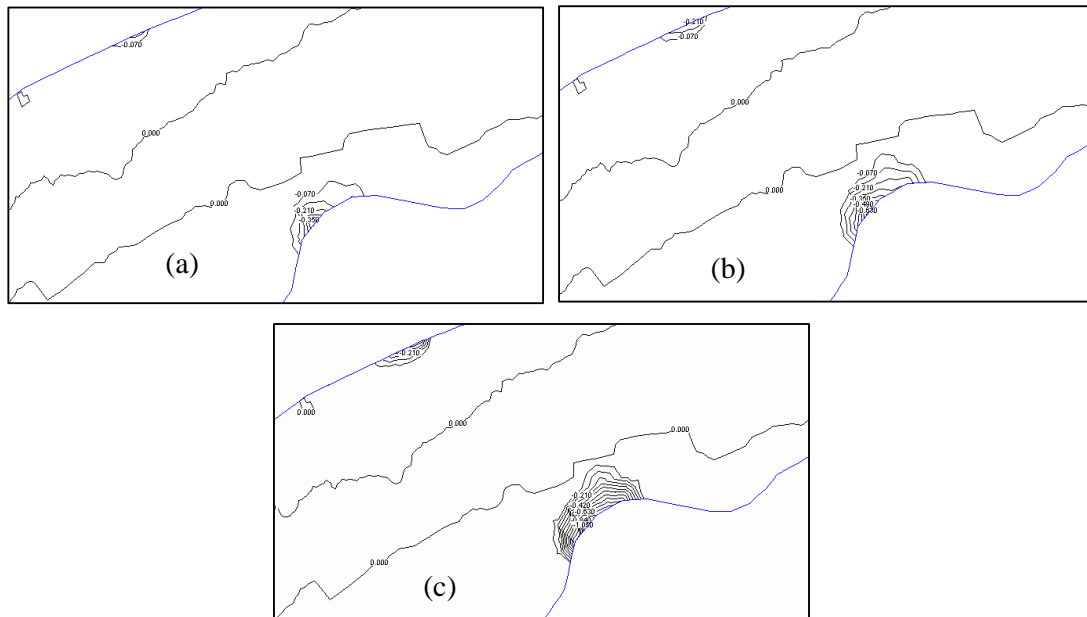


Gambar 8. Distribusi kecepatan di tampang I-I dan II-II.

5.5. Pola Angkutan Sedimen dan perubahan dasar sungai

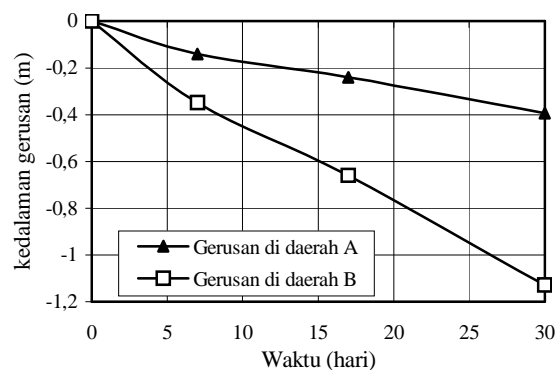
Simulasi program angkutan sedimen dengan SED2D versi 4.1 dilakukan bertahap selama 3 kali simulasi. Untuk mendapatkan perubahan dasar sungai selama 1 bulan dilakukan simulasi RMA2 dan SED2D sebanyak 3 simulasi (7 hari, 17 hari dan 30 hari). Kalibrasi terhadap parameter sedimen tidak dilakukan karena minimnya data lapangan terutama data *series* (dari waktu ke waktu) perubahan dasar sungai Indragiri. Dalam penelitian ini, dilakukan input parameter sedimen yang sesuai dengan hasil data lapangan (data laboratorium) dan data-data hasil tinjauan pustaka dari beberapa literatur.

Pola angkutan sedimen yang terjadi secara bertahap dapat ditunjukkan perubahannya dari waktu ke waktu pada daerah A dan daerah B dengan melihat Gambar 9a, b, dan c. Perubahan elevasi dasar yang ditunjukkan oleh Gambar 9 didominasi oleh adanya erosi dasar sungai, di mana nampak perubahan yang signifikan selama 30 hari simulasi. Terdapat korelasi antara erosi dasar sungai yang terjadi pada daerah A dan B dengan pola arus terjadi di daerah itu. Erosi yang terjadi di daerah B lebih besar dari daerah A, ditunjukkan dengan beda kontur kedalam gerusan dasar yang terjadi (tanda “-” menunjukkan adanya gerusan dan “+” menunjukkan adanya disposisi atau sedimentasi).



Gambar 9. Kontur perubahan dasar sungai di daerah A dan B pada simulasi waktu (a) 7 hari, (b) 17 hari dan (c) 30 hari

Perubahan kedalaman gerusan yang terjadi pada daerah A dan B selama 30 hari simulasi dapat dilihat pada Gambar 10. Gerusan yang terjadi di daerah A yang merupakan daerah sisi luar belokan selama 30 hari bertambah sebesar -0,393 m (bertambah terjadi gerusan rata-rata perhari sebesar 1,3 cm). Gerusan yang terjadi selama 30 hari di daerah B yaitu di sisi dalam belokan dan merupakan tonjolan dan penyempitan jauh lebih besar dari daerah A yaitu sebesar -1,13 m (bertambah rata-rata perhari sebesar 3,7 cm).



Gambar 10. Perubahan dasar sungai di daerah A dan B selama 30 hari

6. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan berikut ini :

Prediksi Perubahan Bentuk Dasar Sungai Di Belokan
(Studi Kasus : Sungai Indragiri Di Daerah Air Molek)
(Bambang Sujatmoko)

1. Model numerik yang digunakan untuk prediksi perubahan bentuk dasar memiliki kemampuan yang cukup memadai. Hasil kalibrasi parameter aliran dalam model numerik RMA2 dengan data parameter aliran di lapangan memiliki nilai *rms* (*root-mean-square*) terhadap kecepatan rata-rata tampang sekitar 6,5%.
2. Model numerik aliran 2 dimensi horizontal RMA2 dan SED2D, dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan bentuk dasar sungai dengan memperhitungkan parameter kalibrasi untuk setiap perubahan bentuk dan data aliran di sungai.
3. Penerapan model numerik pada daerah penelitian (sungai Indragiri di daerah Air Molek) secara kualitatif menunjukkan hasil yang sesuai dengan keadaan di lapangan, di mana terjadi erosi yang cukup besar di daerah luar belokan (sekitar -0,393 m selama 30 hari), sedangkan erosi di sisi dalam belokan yang merupakan daerah menyempit dan tonjolan jauh lebih besar (-1,13 m selama 30 hari). Hanya saja kecepatan erosi dasar sungai persatuan waktu tidak bisa diprediksi karena kesulitan mendapatkan data perubahan dasar sungai Indragiri dari waktu ke waktu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala laboratorium Mekanika Tanah FT UNRI dan Pimpinan PT. Barunadri Eng. Cons. atas partisipasinya dalam penyediaan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BOSS SMS. 1995. *User's Manual Boss SMS*. Version 5.02. Engineering Computer Graphics Laboratory. Madison: Brigham Young University.
- Chow, V. T., 1959, *Open Channel Hydraulics*, Mc. Graw Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo.
- Suroso, A. 1999. *Model Perubahan Dasar*. Tesis S2 Program Studi Teknik Sipil. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

RIWAYAT PENULIS

Bambang Sujatmoko. S.T., M.T., adalah staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau.